

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/010520

International filing date: 08 June 2005 (08.06.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2005-088188
Filing date: 25 March 2005 (25.03.2005)

Date of receipt at the International Bureau: 22 July 2005 (22.07.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2005年 3月25日

出 願 番 号
Application Number: 特願2005-088188

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2005-088188

出 願 人
Applicant(s): 株式会社リコー

2005年 7月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 0502434
【提出日】 平成17年 3月25日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 03/18
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー内
 【氏名】 佐藤 俊一
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー内
 【氏名】 伊藤 彰浩
【特許出願人】
 【識別番号】 000006747
 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
 【氏名又は名称】 株式会社 リコー
 【代表者】 桜井 正光
【代理人】
 【識別番号】 100090240
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市西区浅間町1丁目5番1号 インテンション横浜
 601号
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 植本 雅治
 【電話番号】 045-316-1042
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2004-135080
 【出願日】 平成16年 4月30日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 009793
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9808722

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、

上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、

下部反射鏡は、低屈折率層が $AlAs$ からなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層が $AlGaAs$ からなる第2下部反射鏡とから構成され、

共振器領域を構成するいずれかの層は、 In を含んでいることを特徴とする面発光レーザ

【請求項2】

請求項1記載の面発光レーザにおいて、少なくとも下部スペーサ層と上部スペーサ層は、 In を含んでいることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項3】

請求項1または請求項2記載の面発光レーザにおいて、第2下部反射鏡は、10ベア以下であることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項4】

請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}P_dAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$) からなることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項5】

請求項4記載の面発光レーザにおいて、量子井戸活性層は圧縮歪を有していることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項6】

請求項4記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項7】

請求項5記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項8】

面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、

上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、

スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) か

らなり、量子井戸活性層は $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、光出射方向から見た活性層の外周形状は異方性を持っており(111) A面方向に長い形状であることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 9】

請求項 5 または 請求項 8 記載の面発光レーザにおいて、障壁層は引っ張り歪を有していることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 10】

請求項 4 乃至 請求項 9 のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、該面発光レーザは、発振波長がおよそ 680 nm よりも長波長であることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 11】

半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも 1 層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも 1 種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを積層膜として形成し、この際、前記共振器領域を構成するいずれかの層に In を含ませておき、該積層膜をドライエッチングしてメサ形状に加工するときに、In の発光をモニタすることによりメサ高さを制御することを特徴とする面発光レーザの製造方法。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザが同一基板上に複数個構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイ。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項 12 記載の面発光レーザアレイが、書き込み光源として用いられていることを特徴とする画像形成装置。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項 12 記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光ピックアップシステム。

【請求項 15】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項 12 記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光送信モジュール。

【請求項 16】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項 12 記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光送受信モジュール。

【請求項 17】

請求項 1 乃至 請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項 12 記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光通信システム。

【書類名】明細書

【発明の名称】面発光レーザおよびその製造方法および面発光レーザアレイおよび画像形成装置および光ピックアップシステムおよび光送信モジュールおよび光受信モジュールおよび光通信システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光レーザおよびその製造方法および面発光レーザアレイおよび面発光レーザの製造方法および画像形成装置および光ピックアップシステムおよび光送信モジュールおよび光受信モジュールおよび光通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

面発光型半導体レーザ（面発光レーザ）は、基板に対して垂直方向に光を出射する半導体レーザであり、端面発光型半導体レーザに比べて低コストで高性能が得られることから、光インターコネクションなどの光通信の光源、光ピックアップ用の光源、画像形成装置の光源など、民生用途で用いられている。

【0003】

このような用途の面発光レーザには、活性層の利得が大きく、低しきい値、高出力であって、信頼性に優れ、偏光方向が制御されていることが求められる。

【0004】

特に、面発光レーザ（以下、VCSELという）は、活性層体積が小さいため、端面発光型半導体レーザと比較して、光出力が小さく、出力の増大が求められる場合が多い。この光出力を増大させる方法の一つは、発光部の温度上昇を少なくする対策を行うことである。

【0005】

まず、素子構造をさらに説明し、この熱対策について述べる。

【0006】

図1は一般的な面発光レーザ（VCSEL）の構成例を示す図である。なお、図1は、 $\text{InGaAs}/\text{GaAs}$ を活性層にもち、 AlAs 層を選択酸化して電流狭窄構造としたVCSELの例となっている。

【0007】

図1に示す一般的なVCSELは、次のように作製される。すなわち、MOCVD法やMBE法により、 $n\text{-GaAs}$ 単結晶基板上に、 $n\text{-AlGaAs}/n\text{-AlGaAs}$ 下部半導体多層膜反射鏡（DBR）、下部 GaAs スペーサ層、 $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ MQW活性層、上部 AlGaAs スペーサ層、 AlAs 被選択酸化層、 $p\text{-AlGaAs}/p\text{-AlGaAs}$ 上部半導体多層膜反射鏡（DBR）を順次に積層して積層膜として形成する。

【0008】

次に、積層膜をドライエッチング法によりメサ形状に加工する。このとき、エッチング面は下部半導体DBR中に達するようにすることが一般的である。

【0009】

次に、ドライエッチングにより側面が露出した AlAs 被選択酸化層を、水蒸気中で熱処理し、周辺を酸化して Al_xO_y の絶縁物層に変化させ、素子駆動電流の経路を中心部の酸化されていない AlAs 領域だけに制限する電流狭窄構造を形成する。

【0010】

続いて、所定の個所にp側電極、n側電極を形成して、図1のVCSELを作製することができる。

【0011】

ところで、このような面発光レーザ（VCSEL）では、活性層からの放熱を良くするためには、メサの高さを低くし基板への熱抵抗を小さくすることである。しかし、ドライエッチング法によるメサ加工の工程では、エッチング毎のエッチング深さのバラツキが士

10%以上になることは稀ではなく、試料内でのエッチング深さのバラツキも加算すると、メサの高さを必要な高さより大きくとらざるをえない。

【0012】

また、特許文献1には、さらに熱抵抗を小さくする構成が示されている。特許文献1に示されている構成では、下部半導体DBR中の下側の大部分のDBRの低屈折率層にAlGaAsよりも熱伝導性が格段によいAlAsを用いている。なお、下部半導体DBRの上側の低屈折率層では従来のAlGaAsを用いている。この理由は、もしも、エッチング面が下側AlAs DBR中に達すると、後工程のAlAs被選択酸化層の酸化工程時にメサ側壁に露出している下側AlAs DBRのAlAs層の端面からも同時に酸化が進み、素子が絶縁化するか高抵抗化する事態になるからである。これは、AlGaAsの酸化速度はAl組成依存性が大きく、Al組成が大きいほど酸化速度が大きい。そして、AlAsでは最も酸化速度が大きいからである。これを防ぐため、特許文献1では、酸化速度が小さいAlGaAsを用いた上側AlGaAs DBRを設け、エッチング底面をこの上側AlGaAs DBR中に位置するように加工し、下側AlAs DBRのAlAs端面が露出しないようにする。その上側AlGaAs DBRのベア数は、特許文献1に示されているように全体の4/7以下が良い。より良くは1.0ベア以内とするのが好ましい。

【0013】

しかし、時間管理でエッチング底面を1.0ベア程度の上側AlGaAs DBR中に位置するようにした場合は、歩留まりの低下が著しく、上側AlGaAs DBR中のエッチング底面の位置のバラツキも大きいという問題がある。

【0014】

よって、歩留まり良くこれらの熱対策の効果を得るには、ドライエッチング法によるメサ加工工程の制御性が重要になる。このため、エッチングモニタ法が必要となる。モニタ法としては、プラズマ発光分光法と、被エッチング試料表面に光を照射しその反射光の強度をモニタして膜の干渉強度の変化からエッチング深さを検出する方法が挙げられる。このうち、覗き窓の特別の配置が必要でなく、方式が確立していて、計測機器も市販されているプラズマ発光分光法を用いることが望ましい。

【0015】

この方式の場合、Gaの417nmの発光強度か、Gaの417nmの発光強度とAlの396nmの発光強度との比の時間変化をモニタすることにより、半導体膜組成に対応した強度波形が検出できる。VCSEL構成膜のように2種の組成の層の繰り返しが大部分である試料の場合は、強度波形は振動波形となる。

【0016】

しかし、特にGaAs活性層のレーザ発振波長(850nm程度)以下の短い発振波長をもつVCSELの半導体膜の場合は、Ga組成やGa/Al組成比の変化が小さくなるためと、波長に応じてDBRや共振器の膜厚が小さくなるため、プラズマ発光分光法では前記の振動波形の振幅が小さくなりモニタが容易でなくなる。さらに、被エッチング試料が大きくなれば、試料内のエッチング分布の影響を受けるためモニタが困難となる問題が生じる。

【0017】

また、面発光レーザとして、850nm帯、980nm帯のものは、活性層へのキャリア閉じ込めが良好である。具体的に、850nm帯の面発光レーザでは、量子井戸活性層にはGaAsが用いられ、障壁層やスペーサ層(クラッド層)にはAlGaAsが用いられている。更に、高性能なAlGaAs系反射鏡(DBR)と、Al酸化膜を利用した電流狭窄構造とを採用できるので、実用レベルの性能を実現している。また、偏光方向制御については、光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせる方法など、多数の提案がなされている。中でも、非特許文献1には、(311)B基板、つまり(100)から(111)B面方向に25°傾斜(off)した基板を用いることで、傾斜した方向の光学的利得が大きくなり、偏光方向制御が実現できることが示されている。また、(3

11) A基板も同様な効果があることが示されている。しかしながら、この非特許文献1の技術では、大きく傾斜した(311)B基板上への結晶成長は、(100)基板上への結晶成長に比べて難しくなり、さらに、(311)A基板上への結晶成長は、より一層困難であるという欠点がある。また、いずれの基板の場合も、基板が大きく傾斜しているので、基板の価格が2倍以上することや、へき開しづらく、扱いにくいなどの欠点がある。

【0018】

一方、850nmよりも短波長帯の面発光レーザは、量子井戸活性層にAlを添加してバンドギャップを大きくして実現されている。具体的に、780nm帯の面発光レーザでは、Alが組成比で12%程度添加されている。しかし、この場合、850nmよりも短波長帯の面発光レーザは、障壁層やスペーサ層とのバンド不連続が小さくなってしまいうので、活性層へのキャリア閉じ込めが弱くなってしまい、850nm帯の面発光レーザに比べて、特に温度特性において良好な特性を得るのが困難であるという問題がある。また、活性層に活性なAlが添加されているので、成長中や加工中等に酸素が取り込まれてしまい、非発光再結合センターが形成されて、発光効率や信頼性の低下を招いてしまうという問題がある。

【0019】

特許文献2には、850nmよりも短波長帯の面発光レーザで非発光再結合センターの形成を抑える目的で、Alフリー活性領域(量子井戸活性層、及びそれに隣接する層)を採用する面発光レーザ(780nm帯)が提案されている。この面発光レーザは、具体的には、量子井戸活性層に引っ張り歪を有するGaAsPが用いられ、また、障壁層に圧縮歪を有するGaInPが用いられ、また、スペーサ層(クラッド層と第1及び第3量子井戸活性層との間の層)に格子整合GaInPが用いられ、また、クラッド層にAlGaInPが用いられている。この特許文献2によれば、活性領域がAlフリーなので、信頼性が改善される。

【0020】

更に、非特許文献2には、活性領域がAlフリーであることによる効果に加えて、活性層の利得を大きくするために、量子井戸活性層に圧縮歪を有するGaInPAsが用いられ、障壁層に格子整合または引っ張り歪を有するGaInPが用いられ、スペーサ層(クラッド層と第1及び第3量子井戸活性層との間の層)に格子整合AlGaInPが用いられ、クラッド層にAlGaInP(スペーサ層よりAl組成大)が用いられた780nm帯の面発光レーザが提案されている。この非特許文献2の面発光レーザは、前述した特許文献2の構造に比べて、障壁層が格子整合であり圧縮歪組成よりバンドギャップが大きいので、キャリア閉じ込めが良好になっている。

【0021】

また、偏光方向制御について、特許文献3には、基板の面方位が(100)から(111)A面方向または(111)B面方向に15°乃至40°の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した基板を用い、光学利得異方性を利用し、更に圧縮歪を有するInAlGaAs、InGaAsPからなる多重量子井戸活性層を採用することで、傾斜した方向の光学的利得を大きくして、偏光方向の制御をすることが示されている。

【0022】

また、特許文献4には、メサ形状を円形、楕円形または長円形として、長軸の方向を(100)から(111)A面方向または(111)B面方向とする方法が示されている。この場合、基板の面方位は(100)から[110]方向に2° off (−5° ~ +5° 含む)のものであり、A面、B面方向へ傾斜した基板ではない。

【0023】

しかしながら、従来では、活性層の利得が大きく低しきい値、高出力であって、信頼性に優れ、偏光方向が制御された850nmよりも波長の短い面発光レーザは実現されていない。

【0024】

すなわち、特許文献2では、活性領域がAlフリーなので信頼性が改善されるが、偏光

制御方法が示されていない。

【0025】

また、非特許文献2では、キャリア閉じ込めが良好な構造であるが、偏光制御方法が示されていない。

【0026】

また、特許文献3では、偏光方向の制御が可能となるが、信頼性や、材料の特質にあった構成について、何ら考慮されていない。

【0027】

また、特許文献4では、偏光方向を制御できるが、850nmよりも波長の短い面発光レーザにおいて、高利得、長寿命化について、何ら考慮されていない。

【0028】

このように、従来では、活性層の利得が大きく、低しきい値、高出力であって、信頼性に優れ、偏光方向が制御された850nmよりも波長の短い面発光レーザは実現されていない。

【特許文献1】特開2002-164621

【特許文献2】特開平9-107153号公報

【特許文献3】特開2001-60739

【特許文献4】特開2001-168461

【非特許文献1】IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 12, pp. 1676-1678, 1998 (東工大)

【非特許文献2】IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 12, No. 6, pp. 603-605, 2000 (Wisconsin Univ.)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0029】

本発明は、半導体分布ブラッグ反射鏡(DBR)を構成する材料のGa組成やGa/Al比の変化が小さく、かつ放熱性を考慮した面発光レーザ(VCSEL)半導体膜でも、制御性よくエッチングできる構成を提供すること、また、それにより、高出力となる面発光レーザを提供することを目的としている。これに加えて、特に850nmよりも波長の短い面発光レーザにおいて、信頼性に優れている面発光レーザ、活性層の利得が大きく、低しきい値、高出力である面発光レーザを提供することを目的としている。

【0030】

また、特に850nmよりも波長の短い面発光レーザにおいて、信頼性に優れており、活性層の利得が大きく、低しきい値、高出力であり、これらに加えて、偏光方向が制御されていることとを同時に満たした面発光レーザを提供することを目的としている。

【0031】

更には、上記面発光レーザが集積された面発光レーザアレイおよび画像形成装置および光ピックアップシステムおよび光送信モジュールおよび光送受信モジュールおよび光通信システムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0032】

上記目的を達成するために、請求項1の発明は、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は

、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、

下部反射鏡は、低屈折率層が $AlAs$ からなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層が $AlGaAs$ からなる第2下部反射鏡とから構成され、

共振器領域を構成するいずれかの層は、 In を含んでいることを特徴としている。

【0033】

また、請求項2の発明は、請求項1記載の面発光レーザにおいて、少なくとも下部スペーサ層と上部スペーサ層は、 In を含んでいることを特徴としている。

【0034】

また、請求項3の発明は、請求項1または請求項2記載の面発光レーザにおいて、第2下部反射鏡は、10ベア以下であることを特徴としている。

【0035】

また、請求項4の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$) からなることを特徴としている。

【0036】

また、請求項5の発明は、請求項4記載の面発光レーザにおいて、量子井戸活性層は圧縮歪を有していることを特徴としている。

【0037】

また、請求項6の発明は、請求項4記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であることを特徴としている。

【0038】

また、請求項7の発明は、請求項5記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であることを特徴としている。

【0039】

また、請求項8の発明は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、

上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、

スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、光出射方向から見た活性層の外周形状は異方性を持っており (111) A面方向に長い形状であることを特徴としている。

【0040】

また、請求項9の発明は、請求項5または請求項8記載の面発光レーザにおいて、障壁層は引っ張り歪を有していることを特徴としている。

【0041】

また、請求項10の発明は、請求項4乃至請求項9のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、該面発光レーザは、発振波長がおよそ 680 nm よりも長波長であることを

特徴としている。

【0042】

また、請求項11の発明は、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを積層膜として形成し、この際、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませておき、該積層膜をドライエッチングしてメサ形状に加工するときに、Inの発光をモニタすることによりメサ高さを制御することを特徴としている。

【0043】

また、請求項12の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザが同一基板上に複数個構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイである。

【0044】

また、請求項13の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、書き込み光源として用いられていることを特徴とする画像形成装置である。

【0045】

また、請求項14の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光ピックアップシステムである。

【0046】

また、請求項15の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光送信モジュールである。

【0047】

また、請求項16の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光送受信モジュールである。

【0048】

また、請求項17の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、光源として用いられていることを特徴とする光通信システムである。

【発明の効果】

【0049】

請求項1乃至請求項3記載の発明によれば、共振器領域を構成するいずれかの層はInを含んでおり、下部半導体DBRは放熱性に優れるAlAs/(Al)GaAs DBRを含んでいるので、メサ形成の精度と再現性が高くなり、共振器の近傍までAlAs/(Al)GaAs DBRを設けた構成にできる。

【0050】

よって、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザ(VCSEL)を提供できる。同時に、均一性のよいレーザ特性をもち、加工再現性が良く歩留が良い面発光レーザ(VCSEL)を提供できる。

【0051】

特に、請求項2記載の発明では、共振器領域を構成する層のうち、活性層よりも格段に厚さの厚いスペーサ層がInを含んでいるので、より再現性よく、より精度良くメサを加工でき、これによって、より温度特性が良好で高出力なものであって、より均一性のよいレーザ特性をもち、高い加工再現性と高い歩留の面発光レーザ(VCSEL)が容易に得られる。

【0052】

また、請求項3記載の発明では、第2下部半導体DBRの厚さが、メサ加工時の精度よ

り大きく、且つ、最小限に設定されているので、より駆動時の温度上昇が抑制され温度特性が良好で高出力な面発光レーザ（VCSEL）が得られる。

【0053】

また、請求項4記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなり、スペーサ層の一部に $AlGaInP$ 材料、すなわち $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) が用いられることで、スペーサ層を $AlGaAs$ 系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差を極めて大きく取ることができ、キャリア閉じ込めが向上し、放熱効果との相乗効果で、更に低しきい値化するとともに高出力化することができる。

【0054】

また、障壁層や量子井戸活性層には $GaInPAs$ 材料が用いられており、すなわち、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなり、 Al を含んでいない材料から活性層が構成されており、 Al フリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）としているので、酸素の取り込まれが低減されて非発光再結合センターの形成を抑えることができ、長寿命の面発光レーザを実現できる。

【0055】

また、請求項5記載の発明によれば、請求項4記載の面発光レーザにおいて、量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることで、キャリア閉じ込め効果に歪の効果加わり活性層が高利得化すると共に放熱効果との相乗効果で、更に低しきい値化するとともに極めて高効率化（高出力化）することができる。更には、キャリア閉じ込め向上と歪量子井戸活性層採用による高利得化によって低しきい値化することで、光取り出し側DBRの反射率低減が可能となり、更なる高出力化も可能となる。

【0056】

また、請求項6記載の発明によれば、請求項4記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であるので（すなわち、基板の面方位を考慮し、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板を用いることで）、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック（丘状欠陥）発生による表面性の悪化や非発光再結合センターの発生など、半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができる。

【0057】

また、請求項7記載の発明によれば、請求項5記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板は、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板であるので（すなわち、偏光制御について、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した (100) $GaAs$ 基板を用いることで）、現在、最有力視されている (311) B基板（ 25° 傾斜に相当）を用いた場合ほどの効果を得ることができず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくなるが、請求項7の発明では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償することで、偏光方向を制御することが可能となる。

【0058】

このように、請求項7の発明によれば、放熱効果と活性層の高利得化との相乗効果による低しきい値、高出力であることと、信頼性に優れていることと、偏光方向が制御されていることとを同時に満たした、 850 nm よりも波長の短い面発光レーザを実現することができる。

【0059】

また、請求項8記載の発明によれば、面方位が (111) A面方向に 5° 乃至 20° の

範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、

上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、

スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、光出射方向から見た活性層の外周形状は異方性を持っており(111)A面方向に長い形状であるので、以下の効果を得ることができる。

【0060】

すなわち、請求項8記載の発明の面発光レーザでは、スペーサ層の一部に $AlGaInP$ 材料、すなわち $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) が用いられることで、スペーサ層を $AlGaAs$ 系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差を極めて大きく取ることができ、キャリア閉じ込めが向上し、低しきい値化するとともに高出力化することができる。

【0061】

また、障壁層や量子井戸活性層には $GaInPAs$ 材料が用いられており(すなわち、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなり、 Al を含んでいない材料から活性層が構成されており)、 Al フリー活性領域(量子井戸活性層、及びそれに隣接する層)としているので、酸素の取り込まれが低減されて非発光再結合センターの形成を抑えることができ、長寿命の面発光レーザを実現できる。

【0062】

また、量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることで、歪の効果により更に低しきい値化するとともに高効率化(高出力化)することができる。更には、キャリア閉じ込め向上と歪量子井戸活性層採用による高利得化によって低しきい値化することで、光取り出し側DBRの反射率低減が可能となり、更に高出力化することができる。

【0063】

また、基板の面方位を考慮し、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板を用いることで、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センターの発生など、半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができる。

【0064】

また、偏光制御については、現在、最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくなるが、本発明では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大、及び、面発光レーザの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状とすることによる基板傾斜方向((111)A面方向)の光学利得増大により補償することで、偏光方向の制御が極めて容易になる。

【0065】

このように、請求項8記載の発明によれば、活性層の利得が大きく低しきい値、高出力であることと、信頼性に優れていることと、偏光方向が制御されていることとを同時に満たした、850nmよりも波長の短い面発光レーザを実現することができる。

【0066】

また、請求項9記載の発明によれば、請求項5または請求項8記載の面発光レーザにおいて、障壁層は引っ張り歪を有しているので（すなわち、GaInPAs系材料において、障壁層となる半導体材料は格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを取れるので）、量子井戸活性層とのバンド不連続を更に大きくでき、利得が大きくなり、低しきい値動作、高出力動作が可能となる。

【0067】

また、請求項10記載の発明によれば、請求項4乃至請求項9のいずれか一項に記載の面発光レーザにおいて、該面発光レーザは、発振波長がおよそ680nmよりも長波長であることを特徴としており、請求項10の発明では、AlGaInP系のスペーサ層を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層（量子井戸活性層と障壁層）を用いても、AlGaAs系の活性層による780nm帯の面発光レーザの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となり、更に歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることが可能となる。

【0068】

また、請求項11記載の発明によれば、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを積層膜として形成し、この際、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませておき、該積層膜をドライエッチングしてメサ形状に加工するときに、Inの発光をモニタすることによりメサ高さを制御するので（すなわち、共振器層からのInの発光をモニタしながらドライエッチングするので）、良好に共振器部を検出できて、これにより、再現性良く精度良くメサを形成（加工）できる。この結果、請求項1、請求項2、請求項3の面発光レーザ（VCSEL）を再現性良く歩留まり良く製造することができる。

【0069】

また、請求項12記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザが同一基板上に複数個構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイであるので、以下の効果を得ることができる。

【0070】

すなわち、メサ形成の精度と再現性が高くなるので、均一性のよいレーザ特性をもち、加工再現性が良く歩留が良い面発光レーザアレイが低コストで得られる。

【0071】

特に、請求項1乃至請求項6の面発光レーザを用いた場合、放熱特性が改善されアレイ内素子間の熱干渉が抑えられ、より近接した（高密度）アレイとすることが可能となる。

【0072】

また、高出力動作可能な面発光レーザを同一基板上に多数集積することで、書き込み光学系に応用した場合、同時にマルチビームでの書きこみが容易となり、書きこみ速度が格段に向上し、書きこみドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷できる。また、同じ書きこみドット密度の場合は印刷速度を早くできる。また、通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。更に、面発光レーザは低消費電力動作し、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減できる。

【0073】

また、請求項13記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが、書き込み光源として用いられていることを特徴とする画像形成装置であり、本発明により高出力化であることから、従来の面発光レーザアレイを用いた画像形成装置に比べて高速印刷が可能となる。もしくは、従来と同速度の場合ではアレイ数の低減が可能となり、面発光レーザアレイチップの製造歩留まりが大きく向上するとともに、画像形成装置の低コスト化が図れる。特

に請求項6または請求項7の面発光レーザを用いた場合、偏光方向が十分制御できるので画像形成の信頼性が高くなる。また特に、請求項4の面発光レーザを用いた場合、A1フリー活性層により、850nm帯面発光レーザのような通信用面発光レーザと同等の寿命が達成可能となることから、光書き込み光学ユニット自体の再利用が可能となり、環境負荷低減に貢献できる。

【0074】

また、請求項14記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴とする光ピックアップシステムであるので、以下の効果を得ることができる。

【0075】

すなわち、メディアへの光書き込み用、再生用の光源である半導体レーザの波長は、CDでは780nmが用いられている。面発光レーザは端面発光型半導体レーザに比べて1桁程度消費電力が小さいことから、本発明の780nmの面発光レーザを再生用光源とした、電力が長持ちするハンディタイプの光ピックアップシステムを実現できる。

【0076】

また、請求項15記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴とする光送信モジュールであるので、以下の効果を得ることができる。

【0077】

すなわち、アクリル系POF（プラスチックファイバー）を用いた光伝送では、その吸収損失から、650nmの発振波長の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが必要である。

【0078】

波長が680nmより長波長である本発明の面発光レーザによれば、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的で高速な光送信モジュールを実現できる。

【0079】

また、請求項16記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴とする光送受信モジュールであるので、以下の効果を得ることができる。

【0080】

すなわち、アクリル系POF（プラスチックファイバー）を用いた光伝送では、その吸収損失から、650nmの発振波長の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが必要である。

【0081】

波長が680nmより長波長である本発明の面発光レーザによれば、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的で高速な光送受信モジュールを実現できる。

【0082】

また、請求項17記載の発明によれば、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザ、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴とする光通信システムであるので、以下の効果を得ることができる。

【0083】

すなわち、アクリル系POF（プラスチックファイバー）を用いた光伝送では、その吸収損失から、650nmの発振波長の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く

実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1 Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザーが必要である。

【0084】

波長が680nmより長波長である本発明の面発光レーザーによれば、活性層利得が大きいので高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザーと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的な光通信システムを実現できる。極めて経済的であることから、特に一般家庭やオフィスの室内、機器内などの光通信システムに用いることが効果的である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0085】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0086】

(第1の形態)

本発明の第1の形態は、半導体基板上に、レーザー光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザーであって、上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であって、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とから構成され、下部反射鏡は、低屈折率層がAlAsからなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層がAlGaAsからなる第2下部反射鏡とから構成され、共振器領域を構成するいずれかの層は、Inを含んでいることを特徴としている。

【0087】

この第1の形態では、共振器領域を構成するいずれかの層はInを含んでおり、下部半導体DBRは放熱性に優れるAlAs/(Al)GaAs DBRを含んでいるので、メサ形成の精度と再現性が高くなり、共振器の近傍までAlAs/(Al)GaAs DBRを設けた構成にできる。

【0088】

よって、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザー(VCSEL)を提供できる。同時に、均一性のよいレーザー特性をもち、加工再現性が良く歩留が良い面発光レーザー(VCSEL)が提供できる。

【0089】

なお、第1の形態の面発光レーザーにおいて、前記共振器領域を構成する層のうち、少なくとも下部スペーサ層と上部スペーサ層に、Inを含ませることができる。

【0090】

この場合、共振器領域を構成する層のうち、活性層よりも格段に厚さの厚いスペーサ層がInを含んでいるので、より再現性よく、より精度良くメサを加工でき、これによって、より温度特性が良好で高出力なものであって、より均一性のよいレーザー特性をもち、高い加工再現性と高い歩留の面発光レーザー(VCSEL)が容易に得られる。

【0091】

また、第1の形態の面発光レーザーにおいて、第2下部半導体DBRは、10μm以下であるのが良い。

【0092】

すなわち、この場合には、第2下部半導体DBRの厚さが、メサ加工時の精度より大きく、且つ、最小限に設定されているので、より高い歩留の面発光レーザー(VCSEL)が

得られる。

【0093】

また、第1の形態の面発光レーザ(VCSEL)は、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを積層膜として形成し、この際、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませておき、該積層膜をドライエッチングしてメサ形状に加工するときに、Inの発光をモニターすることによりメサ高さを制御することによって、作製することができる。

【0094】

この製造方法では、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを積層膜として形成し、この際、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませておき、該積層膜をドライエッチングしてメサ形状に加工するときに、Inの発光をモニターすることによりメサ高さを制御するので(すなわち、共振器層からのInの発光をモニターしながらドライエッチングするので)、良好に共振器層を検出できて、これにより、再現性良く精度良くメサを形成(加工)できる。この結果、第1の面発光レーザ(VCSEL)を再現性良く歩留まり良く製造することができる。

【0095】

図2は第1の形態の面発光レーザの基本構成例を示す図である。図2を参照すると、第1の形態の面発光レーザは、具体的には、次のように作製できる。すなわち、MOCVD法やMBE法により、GaAs, InP, GaP, GaNAs, Si, Geなどの単結晶半導体基板上に、直接に又は中間層を介し、 $Al_{1-u}Ga_uAs$ ($0 < u \leq 1$) 第1下部半導体DBRと、 $Al_{1-v}Ga_vAs/Al_{1-w}Ga_wAs$ ($0 < v < 1, 0 < w \leq 1, v < w$) 第2下部半導体DBRと、下部スペーサ層、活性層、上部スペーサ層からなり、下部スペーサ層、活性層、上部スペーサ層のいずれかの層にInを含む共振器層と、 $Al_{1-t}Ga_tAs$ ($0 \leq t \leq 0.05$) 被選択酸化層と、 $Al_{1-v}Ga_vAs/Al_{1-w}Ga_wAs$ ($0 < v < 1, 0 < w \leq 1, v < w$) 上部半導体DBRとを順次に積層してVCSEL構成積層膜を形成する。

【0096】

ここで、Inを含む層は、 $Al_{1-x-y}Ga_xIn_yAs_{1-z}P_z$ ($0 \leq x \leq 1, 0 < y \leq 1, 0 < (x+y) \leq 1, 0 \leq z \leq 1$) で表される化合物半導体材料からなり、代表的には、GaInP, GaInAsP, GaInAs, AlGaInAs, AlGaInAsPなどからなるが、さらにB, N, Sb, Tlなどの他のIII族、V族の元素を含む場合もある。

【0097】

このVCSEL構成積層膜の組み合わせの具体例を次表(表1)に示す。

【0098】

【表 1】

	波長帯 (nm)	量子井戸活性層 (ウェル/バリア)	上部、下部スペーサ層	上部半導体DBR
例1	650	InGaP/AlGaInP	$(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$
例2	780	GaInAsP/AlGaInP	$(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$
例3	850	GaAs/InGaAsP	$\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$
例4	980	GaInAs/GaAs	GaIn(As)P	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$
例5	1300	GaInNAs/GaAs	GaIn(As)P	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$

	波長帯 (nm)	第1下部半導体DBR	第2下部半導体DBR
例1	650	AlAs/ $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$
例2	780	AlAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$
例3	850	AlAs/ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$
例4	980	AlAs/GaAs	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$
例5	1300	AlAs/GaAs	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$

【0099】

次に、フォトリソ等でメサマスクをパターンニングし、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 、 CF_4 などのハロゲン系ガスを導入し、反応性イオンビームエッチング法(RIBE)、誘導結合プラズマ(ICP)エッチング法、反応性イオンエッチング法(RIE)などのプラズマを用いたドライエッチング法でメサ形成を行う。このとき、エッチング装置の覗き窓からプラズマ発光分光を行い、Inの451nmの発光の強度の時間変化をモニタする。本発明では、共振器領域をエッチングしているときだけInの発光が検出できるので、第2半導体DBR中で確実にエッチングを停止することができる。

【0100】

次に、 $\text{Al}(\text{Ga})\text{As}$ 被選択酸化層を、水蒸気中で熱処理し電流狭窄構造を形成する。次に、電極取り出し部と光出力部を除いた領域にポリイミドや SiO_2 からなる絶縁膜を形成する。この絶縁膜は素子の平坦化の役割も担う。

【0101】

続いて、所定の個所にp側電極、n側電極を形成し、図2の面発光レーザ(VCSEL)を作製することができる。図2の面発光レーザ(VCSEL)では、p側電極、n側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入し、活性層で発光させ、基板に垂直方向にレーザ発振させることができる。なお、図2では、上方に光出力する構成を示しているが、基板側に光を出力させるよう構成することもできる。

【0102】

なお、下部スペーサ層と活性層と上部スペーサ層は、全体で共振器をなすため、合計した厚さは $(N_0 + 1) \times (\lambda / n)$ となり、多くの場合は λ / n である。ここで、 N_0 は0以上の整数であり、 λ は発振波長であり、 n は構成半導体の屈折率である。また、活性層は通常薄い量子井戸構造をとるので、共振器の長さの大部分は上、下スペーサ層の厚さである。一方、半導体DBRの層の厚さは $(1 + 2 \times N_0) \times \lambda / (4 \times n)$ であるが、多くの場合は $\lambda / (4 \times n)$ である。よって、上、下スペーサ層は他の構成要素膜より格段に厚い。このことから、前述のように、特に上、下スペーサ層がInを含めば、エッチング時にInの強い発光強度が得られ、高い精度でエッチングの終点を制御できるようになり、再現性が極めて向上する。

【0103】

また、本発明のVCSEL積層膜の1枚のウェハを以上のモニタ法を用いエッチングしたときは、ウェハ内のエッチング深さの平均値のバラツキは、メサの底面が第2下部半導体DBRの2、3ペアの範囲内に入れることができる程度である。従って、メサ高さのウェハ内バラツキや、多数枚を同時にエッチングする場合のウェハ間バラツキも考慮すると、前述のように、第2下部半導体DBRのペア数は最大10ペアであれば、通常のエッチ

ング環境に対応できる。

【0104】

このように共振器の近傍まで熱抵抗の小さいAlAs/(Al)GaAs DBRを設けた構成にできる。よって、放熱効果が高まり駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザ(VCSEL)が得られる。

【0105】

なお、第1下部半導体DBRの低屈折率層の酸化速度が被選択酸化層より速い材料・厚さの場合は、第1下部半導体DBRまでメサエッチングしてはいけませんが、このような例としては被選択酸化層と第1下部半導体DBRの低屈折率層がともにAlAsである場合以外にもあり得る。例えば被選択酸化層がAlAsではなくGaがわずかに含まれていて、第1下部半導体DBRの低屈折率層もAlAsではなくGaが含まれている場合である。この場合、第2下部半導体DBRの低屈折率層の酸化速度が被選択酸化層より遅い材料・厚さであって、第1下部半導体DBRの低屈折率層が第2下部半導体DBRの低屈折率層より熱抵抗の小さい組成(材料)であれば、放熱効果がある。

【0106】

また、Inの発光分光の方法は、Inの発光強度だけをモニタする場合の他、プラズマ状態の変動をキャンセルするため、Inの発光強度と他の構成元素の発光強度との比、Inの発光強度といずれにも帰属しない波長の発光強度との比をモニタする場合がある。

【0107】

また、エッチング底面を共振器の直下にする方法は、下部半導体DBRの最上層をGaInPやAlGaInPとし、共振器を含む上層をGaAsやAlGaAsなどにすれば、 $H_2SO_4/H_2O_2/H_2O$ 液による選択エッチングが可能である。しかし、メサ幅の制御が困難である、エッチング異方性により非対称な形状のメサができやすいなどの不具合があるのでドライエッチングが好ましい。

【0108】

また、AlAs被選択酸化層は活性層の近くに設けられるが、上部半導体DBRや下部半導体DBRの低屈折率層を兼ねてDBR中に設ける場合等もあり、その位置は限定されない。また、共振器領域にのみInを含む層を設けた場合で説明したが、共振器領域のエッチング状況を把握できて、かつ、第一下部反射鏡までエッチングが至らなければ良いので、例えば共振器領域に最も近い反射鏡の一部など、共振器領域以外であってもInを含む層を設けてもかまわない。

【0109】

(第2の形態)

本発明の第2の形態の面発光レーザは、第1の形態の面発光レーザにおいて、スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}P_dAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) からなることを特徴としている。

【0110】

スペーサ層の一部に $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) を用いることで、スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差を極めて大きく取ることができる。

【0111】

表2には、AlGaAs(スペーサ層)/AlGaAs(量子井戸活性層)系の780nm、850nm面発光レーザ、更に、AlGaInP(スペーサ層)/GaInPAs(量子井戸活性層)系の780nm面発光レーザの典型的な材料組成でのスペーサ層と井戸層、及び障壁層と井戸層とのバンドギャップ差が示されている。

【0112】

【表 2】

波長		780nm		850nm(Ref.)
		スペーサ層 / 量子井戸活性層		
		AlGaAs/AlGaAs系材料	AlGaInP/GaInPAs系材料	AlGaAs/GaAs系材料
スペーサ層		$\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ ($E_g=2.0226\text{eV}$)	$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ($E_g(x=0.7)=2.289\text{eV}$)	$\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ ($E_g=2.0226\text{eV}$)
活性層	量子井戸活性層	$\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ ($E_g=1.5567\text{eV}$)	GaInPAs (圧縮歪) ($E_g=1.5567\text{eV}$)	GaAs $E_g=1.42\text{eV}$
	障壁層	$\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ($E_g=1.7755\text{eV}$)	$\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ (引っ張り歪) ($E_g(x=0.6)=2.02\text{eV}$)	$\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ($E_g=1.7755\text{eV}$)
スペーサ層と井戸層の E_g 差 (ΔE_g)		465.9meV	743.3meV	602.6meV
障壁層と井戸層の E_g 差 (ΔE_g)		218.8meV	463.3meV	355.5meV

【0113】

表2に示すように、AlGaInP (スペーサ層) / GaInPAs (量子井戸活性層) 系の780nm面発光レーザは、AlGaAs / AlGaAs系の780nm面発光レーザはもとより、AlGaAs / AlGaAs系の850nm面発光レーザよりも、バンドギャップ差を大きく取れることがわかる。

【0114】

また、量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることができ、歪が増加すると、ヘビーホールとライトホールのバンド分離が大きくなるため、利得の増加が大きくなり、低しきい値化するとともに高効率化(高出力化)する。この効果はAlGaAs / AlGaAs系の850nm面発光レーザでは実現できないので、本発明のAlGaInP / GaInPAs材料系によれば、AlGaAs / AlGaAs系の850nm面発光レーザよりも、低しきい値化、高効率化(高出力化)が可能であることがわかる。

【0115】

更に、本発明の第2の形態の面発光レーザでは、キャリア閉じ込め向上、歪量子井戸活性層による高利得化によって低しきい値化することで、光取り出し側DBRの反射率低減が可能となり、より一層の高出力化ができる。

【0116】

また、本発明の第2の形態の面発光レーザでは、量子井戸活性層は $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$)、障壁層は $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$)であり、Alを含んでいない材料から構成されており、Alフリー活性領域(量子井戸活性層、及びそれに隣接する層)としているので、酸素の取り込まれが低減されて非発光再結合センターの形成を抑えることができ、長寿命の面発光レーザを実現できる。

【0117】

このように、スペーサ層の一部にAlGaInP材料を用い、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAsを用いることで、活性層の利得が大きく低しきい値、高出力であって、信頼性に優れた850nmよりも波長の短い面発光レーザを実現できる。

【0118】

また、上記の効果を実現するためには以下に示すように基板の面方位を考慮することが好ましい。特にAlGaInPやGaInPにおいては、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した(100)GaAs基板が適してい

る。(100)面に近い場合、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センターの発生が生じ、半導体レーザなどのデバイス特性に悪影響を及ぼす。一方、(100)面から(111)A面方向に傾斜させると、傾斜角に応じて自然超格子の形成が抑えられる。すなわち、バンドギャップは、傾斜角が 10° から 15° くらいまでは急激に変化し、その後は徐々に正規のバンドギャップ(完全に混ざった混晶の値)に近づき、また、ヒロックも徐々に発生しなくなっていく。しかし、(111)A面方向の傾斜角が 20° を超えると、結晶成長が困難になっていく。そこで、赤色レーザ(630nmから680nm)の材料系で使われているAlGaInP材料では、 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より多くの場合、 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜させた基板が一般に使われている。これは、スペーサ層(クラッド層)であるAlGaInPはもとより、表2の例のように障壁層をGaInPとした場合も当てはまる。更には、障壁層や量子井戸活性層がGaInPAsの場合であっても悪影響が懸念されるので、これら材料の成長には面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より望ましくは 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜した(100)GaAs基板を用いることが好ましい。

【0119】

したがって、基板の面方位を(111)A面方向に傾斜させることによる光学利得異方性を利用して偏光角(偏光方向)を制御する場合、現在、最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができない。本発明(第2の形態)では、(311)B基板(傾斜角が 25°)よりも小さい傾斜角(5° 乃至 20° の範囲内の角度)であるので、基板コストを抑えられることやへき開し易く扱い易さが改善するものの、光学利得異方性は小さくなる。本発明(第2の形態)では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償することができる。

【0120】

なお、上述例では、850nmよりも短い波長に限定しているが、これは従来に比べて優位差が極めて大きいからであって、850nmよりも長い波長であっても効果が得られる。

【0121】

このように本発明(第2の形態)によれば、第1の形態で説明したことに加えて、活性層の利得が大きく低しきい値、高出力であることと、信頼性に優れていることと、偏光方向が制御されていることとを同時に満たした850nmよりも波長の短い面発光レーザを実現することが可能となる。

【0122】

(第3の形態)

本発明の第3の形態の面発光レーザは、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した(100)GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光レーザにおいて、上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) からなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) からなる屈折率が大なる層とからなり、スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$) からなり、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$) からなり、量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、光出射方向から見た活性層の外周形状は異方性を持っており(111)A面方向に長い形状であることを特徴としている。

【0123】

本発明の第3の形態の面発光レーザでは、基板の面方位を(111)A面方向に傾斜さ

せることによる光学利得異方性を利用して偏光角（偏光方向）を制御する場合、（3 1 1）B基板（傾斜角が 25° ）よりも小さい傾斜角（ 5° 乃至 20° の範囲内の角度）であるので、現在、最有力視されている（3 1 1）B基板を用いた場合の効果を利用することができない。

【0124】

第3の形態では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大による補償に加え、面発光レーザの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、（1 1 1）A面方向に長い形状とすることによる基板傾斜方向（（1 1 1）A面方向）の光学的利得増大により補償している。これにより傾斜角方向（（1 1 1）A面方向）の光学利得が更に増大し、偏向角の制御性が向上する。

【0125】

（第4の形態）

本発明の第4の形態の面発光レーザは、第2または第3の形態の面発光レーザにおいて、障壁層が引っ張り歪を有していることを特徴としている。

【0126】

障壁層となるGaInPAs系材料において、同一格子定数の場合はGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを取れる。これにより量子井戸活性層とのバンド不連続を大きくでき利得が大きくなるので、低しきい値動作、高出力動作が可能となる。例えば、Ga_{0.6}In_{0.4}P引っ張り歪層のバンドギャップは2.02 eVであり、Ga_{0.5}In_{0.5}P格子整合層のバンドギャップは1.87 eVであり、Ga_{0.6}In_{0.4}P引っ張り歪層のバンドギャップの方が150 meV大きい。

【0127】

（第5の形態）

本発明の第5の形態の面発光レーザは、第2乃至第4の形態の面発光レーザにおいて、発振波長がおおよそ680 nmよりも長波長であることを特徴としている。

【0128】

AlGaAs／AlGaAs系活性層による780 nm面発光レーザの場合と比較する。Al_xGa_{1-x}As（ $0 < x \leq 1$ ）系スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きいAl_xGa_{1-x}As（ $x = 0.6$ 、 $E_g = 2.0226$ eV）と組成波長780 nm（ $E_g = 1.5567$ eV）の活性層とのバンドギャップ差は、（Al_aGa_{1-a}）bIn_{1-b}P（ $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ ）スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい（Al_aGa_{1-a}）bIn_{1-b}P（ $a = 0.7$ 、 $b = 0.5$ 、 $E_g = 2.289$ eV）と組成波長680 nm（ $E_g = 1.8233$ eV）の活性層とのバンドギャップ差（460 meV）とほぼ等しい。

【0129】

また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差については、例えば障壁層をGa_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}（ $e = 0.6$ 、 $f = 1$ 、 $E_g = 2.02$ eV）とすれば、組成波長680 nmの活性層とのバンドギャップ差がおおよそ200 meVとなり、AlGaAs／AlGaAs系活性層による780 nm面発光レーザの場合とほぼ同等となる。

【0130】

つまりAlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680 nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層（量子井戸活性層と障壁層）を用いても、AlGaAs／AlGaAs系活性層による780 nm面発光レーザの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となる、更に歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることが可能となる。

【0131】

（第6の形態）

本発明の第6の形態の面発光レーザアレイは、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザが同一基板上に複数個構成されていることを特徴としている。

【0132】

面発光レーザーは、面発光型であることでアレイ化が容易で、しかも通常の半導体プロセスで形成されるので、素子の位置制度が高い。更にメサ形成時の制御性が改善されるので低コスト化できる。

【0133】

更に、下部DBRの放熱性を改善した構造とすることでアレイ内素子間の熱干渉が低減され高出力化や高密度化ができる。

【0134】

更に、本発明のように偏光方向が一定方向に制御された、高出力動作可能な面発光レーザーを同一基板上に多数集積することで、書き込み光学系に応用した場合、同時にマルチビームでの書きこみが容易となり、書き込み速度が格段に向上し、書き込みドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷できる。また同じ書き込みドット密度の場合は印刷速度を早くできる。また、通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。更に面発光レーザーは低消費電力動作し、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減できる。

【0135】

(第7の形態)

本発明の第7の形態の画像形成装置は、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザー、または、第6の形態の面発光レーザーアレイが書き込み光源として用いられていることを特徴としている。

【0136】

本発明の面発光レーザー、面発光レーザーアレイは、偏光方向が制御されてしかも高出力化できることから、本発明の面発光レーザー、面発光レーザーアレイを用いた画像形成装置は、従来の面発光レーザーアレイを用いた画像形成装置に比べて高速印刷が可能となる。もしくは従来と同速度の場合ではアレイ数の低減が可能となり、面発光レーザーアレイチップの製造歩留まりが大きく向上するとともに、画像形成装置の低コスト化が図れる。更に、Alフリー活性層により、850nm帯面発光レーザーのような通信用面発光レーザーと同等の寿命(推定で室温100万時間が報告されている)が達成可能となることから、光書き込み光学ユニット自体の再利用が可能となり、環境負荷低減に貢献できる。

【0137】

(第8の形態)

本発明の第8の形態の光ピックアップシステムは、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザー、または、第6の形態の面発光レーザーアレイが光源として用いられていることを特徴としている。

【0138】

メディアへの光書き込み用、再生用光源である半導体レーザーの波長は、CDでは780nmが用いられている。面発光レーザーは端面発光型半導体レーザーに比べて1桁程度消費電力が小さいことから、本発明の780nmの面発光レーザーを再生用光源とした、電力が長持ちするハンディータイプの光ピックアップシステムを実現できる。

【0139】

(第9の形態)

本発明の第9の形態の光送信モジュールは、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザー、または、第6の形態の面発光レーザーアレイが光源として用いられていることを特徴としている。

【0140】

すなわち、アクリル系POF(プラスチックファイバー)を用いた光伝送では、その吸収損失から、650nmの発振波長の面発光レーザーが検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザーが必要である。

【0141】

最短波長が680 nmである本発明の面発光レーザによれば、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的で高速な光送信モジュールを実現できる。

【0142】

(第10の形態)

本発明の第10の形態の光送受信モジュールは、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザ、または、第6の形態の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴としている。

【0143】

すなわち、アクリル系POF（プラスチックファイバー）を用いた光伝送では、その吸収損失から、650 nmの発振波長の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1 Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが必要である。

【0144】

最短波長が680 nmである本発明の面発光レーザによれば、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的で高速な光送受信モジュールを実現できる。

【0145】

(第11の形態)

本発明の第11の形態の光通信システムは、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザ、または、第6の形態の面発光レーザアレイが光源として用いられていることを特徴としている。

【0146】

すなわち、アクリル系POF（プラスチックファイバー）を用いた光伝送では、その吸収損失から、650 nmの発振波長の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。従って、現在、LEDが使われているが、高速変調が困難であり、1 Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが必要である。

【0147】

最短波長が680 nmである本発明の面発光レーザによれば、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能となり、安い光源である面発光レーザと、安い光ファイバーであるPOFとを用いた経済的な光通信システムを実現できる。極めて経済的であることから、特に一般家庭やオフィスの室内、機器内などの光通信システムに用いることが効果的である。

【0148】

次に、本発明の実施例を説明する。

【実施例1】

【0149】

図3は実施例1の面発光レーザ（VCSEL）の構成を示す図である。なお、後述の実施例2、実施例3、実施例4の面発光レーザも図3と同様の構成のものとなっている。

【0150】

図3を参照すると、実施例1では、MOCVD法で、n-GaAs単結晶（100）基板上に、n-AlAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 42.5ベアからなる第1下部半導体DBRと、n-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 6ベアからなる第2下部半導体DBRと、Ga_{0.5}In_{0.5}P下部スペーサ層と、GaInAsP/Ga_{0.5}In_{0.5}P（ウェル/バリア）TQW活性層と、Ga_{0.5}In_{0.5}P上部スペーサ層と、p-AlAs被選択酸化層と、p-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 34.5ベアからなる上部半導体DBRと、p-

GaAsコンタクト層とを順次に積層して、VCSEL構成積層膜を形成する。

【0151】

次に、フォトリソで円形メサマスクをパターニングし、 Cl_2 ガスを導入し、反応性イオンビームエッチング法(RIBE)でエッチングを開始する。このとき、プラズマ発光分光器でInの発光(451nm)とAlの発光(396nm)との比をとり、その時間変化をモニタする。図4には、実施例1におけるIn(451nm)/Al(396nm)発光強度比の時間変化が示されている。図4を参照すると、エッチング開始から数分経過すると、Inの発光(451nm)が検出され、やがてなくなる。この時点でエッチングを終了すると、第2下部半導体DBRの上から3層目でエッチングが停止した。

【0152】

次に、AlAs被選択酸化層を水蒸気中で400℃で熱処理し、非酸化AlAs領域が $25\mu\text{m}^2$ になる電流狭窄構造を形成する。次に、電極取り出し部と光出力部を除いた領域にポリイミド保護膜を形成する。

【0153】

続いて、メサ上面にp側電極膜を蒸着し、リフトオフ法により光出力用の開口を形成する。さらに、基板裏面にn側電極を形成して、図7に示す構成の面発光レーザ(VCSEL)を作製することができる。

【0154】

実施例1の面発光レーザでは、p側電極、n側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入すると、波長780nmのレーザ光が上部電極の開口から垂直に出力される。

【0155】

実施例1の面発光レーザでは、共振器全体にInを含むVCSEL構造積層膜を、Inの発光をモニタしながらエッチングするので、良好に共振器層を検出できるようになる。これにより、第2下部半導体DBRを下部半導体DBR全体の4/7より少ない層数にできる。この結果、素子の温度上昇が抑えられ、より高出力のVCSELが得られる。さらには、再現性よくメサ加工ができてメサ高さが均一になるので、均一なレーザ特性をもつ面発光レーザ(VCSEL)が得られ、同時に歩留りが向上する。

【実施例2】

【0156】

前述のように、実施例2の面発光レーザも図3と同様の構成のものとなっている。

【0157】

図3を参照すると、実施例2では、MBE法で、n-GaAs単結晶(100)基板上に、n-AlAs/Al_{0.5}Ga_{0.5}As 47.5ペアからなる第1下部半導体DBRと、n-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/Al_{0.5}Ga_{0.5}As 10ペアからなる第2下部半導体DBRと、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P下部スペーサ層と、In_{0.46}Ga_{0.54}P/(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P(ウェル/バリア)TQW活性層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P上部スペーサ層と、p-AlAs被選択酸化層と、Al_{0.95}Ga_{0.05}As/Al_{0.5}Ga_{0.5}As 40.5ペアからなる上部半導体DBRと、p-GaAsコンタクト層とを順次に積層して、VCSEL構成積層膜を形成する。

【0158】

次に、フォトリソで円形メサマスクをパターニングし、 Cl_2 ガスを導入し、ICPEエッチング法でエッチングを行う。このとき、プラズマ発光分光器でInの発光(451nm)の時間変化をモニタする。エッチングが進行すると、Inの発光(451nm)が検出され、やがてなくなる。この時点でエッチングを終了すると、第2下部半導体DBR中でエッチングが停止する。

【0159】

次に、AlAs被選択酸化層を水蒸気中で400℃で熱処理し、非酸化AlAs領域が $25\mu\text{m}^2$ になる電流狭窄構造を形成する。次に、電極取り出し部と光出力部を除いた領域にポリイミド保護膜を形成する。

【0160】

続いて、メサ上面にp側電極膜を蒸着し、リフトオフ法により光出力用の開口を形成する。さらに、基板裏面にn側電極を形成し、図3に示す構成の面発光レーザ(VCSEL)を作製することができる。

【0161】

実施例2の面発光レーザでは、p側電極、n側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入すると、波長650nmのレーザ光が上部電極の開口から垂直に出力される。

【0162】

実施例2の面発光レーザも、実施例1の面発光レーザと同様の作用効果を有する。

【実施例3】

【0163】

前述のように、実施例3の面発光レーザも図3と同様の構成のものとなっている。

【0164】

図3を参照すると、実施例3では、MOCVD法で、n-GaAs単結晶(100)基板上に、n-AlAs/n-Al_{0.15}Ga_{0.85}As 40.5ペアからなる第1下部半導体DBRと、n-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/n-Al_{0.15}Ga_{0.85}As 5ペアからなる第2下部半導体DBRと、In_{0.27}Ga_{0.73}As_{0.44}P_{0.56}下部スペーサ層と、GaAs/In_{0.27}Ga_{0.73}As_{0.44}P_{0.56}(ウェル/バリア)TQW活性層と、In_{0.27}Ga_{0.73}As_{0.44}P_{0.56}上部スペーサ層と、p-AlAs被選択酸化層と、p-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/p-Al_{0.15}Ga_{0.85}As 30.5ペアからなる上部半導体DBRと、p-GaAsコンタクト層とを順次に積層して、VCSEL構成積層膜を形成する。

【0165】

以下の工程は実施例2と同様に行う。

【0166】

実施例3の面発光レーザでは、p側電極、n側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入すると、波長850nmのレーザ光が上部電極の開口から垂直に出力される。

【0167】

実施例3の面発光レーザも、実施例1の面発光レーザと同様の作用効果を有する。

【実施例4】

【0168】

前述のように、実施例4の面発光レーザも図3と同様の構成のものとなっている。

【0169】

図3を参照すると、実施例4では、MOCVD法で、n-GaAs単結晶(100)基板上に、n-AlAs/n-GaAs 32.5ペアからなる第1下部半導体DBRと、n-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/n-GaAs 3ペアからなる第2下部半導体DBRと、Ga_{0.5}In_{0.5}P下部スペーサ層と、GaInNAs/GaAs(ウェル/バリア)TQW活性層と、Ga_{0.5}In_{0.5}P上部スペーサ層と、p-AlAs被選択酸化層と、p-Al_{0.95}Ga_{0.05}As/p-GaAs 26ペアからなる上部半導体DBRと、p-GaAsコンタクト層とを順次に積層して、VCSEL構成積層膜を形成する。

【0170】

以下の工程は実施例2と同様に行う。

【0171】

実施例4の面発光レーザでは、p側電極、n側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入すると、波長1300nmのレーザ光が上部電極の開口から垂直に出力される。

【0172】

実施例4では、実施例1の作用効果に加えて、GaInNAsを活性層に含んでいるため、1.3μm帯であってもGaAs基板上に形成でき、高性能なAlGaAs系DBRを

利用できると共に、選択酸化狭窄構造を採用でき、さらに障壁層やスペーサ層とのバンド不連続が大きく、キャリア閉じ込めが良好になるので特性温度が高く、光伝送用の光源として適用性の高い面発光レーザ（VCSEL）を提供できる。

【0173】

また、 $1.3\mu\text{m}$ 帯のDBRなので構成層が厚いため、第2下部DBRを3ペアに設定しても、エッチングの底面をこの第2下部DBR中に入れることが可能である。よって、より温度特性がよくなり、高出力が得られる。

【実施例5】

【0174】

図5は実施例5の面発光レーザ（VCSEL）の構成を示す図である。

【0175】

図5を参照すると、実施例5では、MOCVD法で、 $p\text{-GaAs}$ 単結晶（100）基板上に、 $p\text{-AlAs}/p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 39.5ペアからなる第1下部半導体DBRと、 $p\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 6ペアからなる第2下部半導体DBRと、 $p\text{-AlAs}$ 被選択酸化層と、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 下部スペーサ層と、 $\text{GaAs}/\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ （ウェル／バリア）TQW活性層と、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 上部スペーサ層と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 30.5ペアからなる上部半導体DBRと、 $n\text{-GaAs}$ コンタクト層とを順次に積層して、VCSEL構成積層膜を形成する。

【0176】

以下の工程は、 p 側電極と n 側電極を逆に設ける他は、実施例2と同様に行う。

【0177】

実施例5の面発光レーザでは、 p 側電極、 n 側電極から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入すると、波長 850nm のレーザ光が上部電極の開口から垂直に出力される。

【0178】

基板側を p 型伝導にする場合は、 AlAs 被選択酸化層を活性層の下に設ける必要がある。これは化合物半導体は p 型伝導のほうが n 型伝導より移動度が小さいので電流狭窄を p 型伝導の領域に設けたほうが狭窄の効果が大きいからである。

【0179】

以上のように、基板側を p 型伝導にする場合は、より正確なエッチングが必要となる。この実施例5の積層膜構成をとり、プラズマ発光分光モニタ法を用いエッチングすることにより、基板側が p 型伝導のVCSELでも安定して作製することが可能になる。ほかは実施例1の作用効果と同じである。

【実施例6】

【0180】

図6乃至図7は実施例6の面発光レーザ（VCSEL）を示す図である。なお、図7は図6の面発光レーザの活性層周辺の領域Aの拡大図である。なお、この実施例6の面発光レーザの発振波長は 780nm である。

【0181】

実施例6の面発光レーザは、面方位が（111）A面方向に傾斜角 15° で傾斜した $n\text{-}(100)\text{GaAs}$ 基板上に、 $n\text{-AlAs}$ と $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ とを媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に例えば30.5周期積層した周期構造からなる第1下部半導体DBR（下部第1反射鏡）と、 $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ と $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ とを媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に例えば10周期積層した周期構造からなる第2下部半導体DBR（下部第2反射鏡）とが形成されている（図6では詳細は省略）。なお、第1下部半導体DBR、第2下部半導体DBRの各層の間にはAl組成を一方の値から他方の値に徐々に変化させた厚さ 20nm の組成傾斜層を挿入しており、傾斜層を含めて媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さとしてゐる。これによれば、DBRに電気を流す場合、両者のバンド不連続を滑らかにすること

ができ、高抵抗化を抑制できる。

【0182】

さらに、第2下部半導体DBRの上には、第2下部半導体DBRと格子整合する $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 下部第1スペーサ(クラッド)層と、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 下部第1スペーサ(クラッド)層と格子整合する $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 下部第2スペーサ層と、圧縮歪組成であってバンドギャップ波長が780nmとなる3層の $GaInPAs$ 井戸層と格子整合する2層の $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 障壁層とからなる量子井戸活性層と、 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 上部第2スペーサ層と、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 上部第1スペーサ(クラッド)層とが形成されている。更にその上には、 $p-Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.9$)と $p-Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.3$)とを交互に例えば25周期積層した周期構造からなる上部半導体DBR(上部反射鏡)が形成されている(図6では詳細は省略)。この上部反射鏡にも、下部反射鏡と同様に組成傾斜層を挿入している。そして最上部には、電極とコンタクトを取る $p-GaAs$ コンタクト層が形成されている。下部反射鏡と上部反射鏡との間は発振波長の1波長分の厚さ(いわゆるラムダキャビティ)とした。

【0183】

この実施例6の面発光レーザは、以下のように作製される。すなわち、結晶成長はMOCVD法により行ない、原料には、TMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMI(トリメチルインジウム)、 PH_3 (フォスフィン)、 AsH_3 (アルシン)を用い、 n 型のドーパントとして H_2Se (セレン化水素)を用い、 p 型のドーパントとして CBr_4 を用いた。また、キャリアガスには H_2 を用いた。MOCVD法は、原料ガス供給量を制御することで、組成傾斜層のような構成を容易に形成できるので、DBRを含んだ面発光レーザの結晶成長方法として適している。また、MBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので、量産性にも優れている。

【0184】

この実施例6では、 p 側DBR(上部反射鏡)中で活性層に近い低屈折率層の一部を $AlAs$ 層とした。そして、所定の大きさのメサを少なくとも $p-AlAs$ 被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた $AlAs$ を水蒸気で側面から酸化して Al_xO_y 電流狭さく部を形成した。そして次に、ポリイミドでエッチング部を埋め込んで平坦化し、 p コンタクト層と光出射部のある上部反射鏡上のポリイミドを除去し、 p コンタクト層上の光出射部以外に p 側電極を形成し、基板の裏面に n 側電極を形成した。

【0185】

この実施例6では、 Al と As を主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。被選択酸化層を選択酸化した Al 酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造では、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。さらに酸化して Al 酸化膜となることで屈折率が小さくなり、凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減される。また、容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0186】

実施例6の面発光レーザでは、スペーサ層の一部に $AlGaInP$ 材料を用い、障壁層や量子井戸活性層には $GaInPAs$ を用いており、そして、面方位が (111) A面方向に 15° 傾斜した (100) $GaAs$ 基板上に形成したので、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下やヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センターの影響を低減できた。

【0187】

また、スペーサ層(クラッド層)としてワイドバンドギャップである $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ を用いている。スペーサ層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差

は、スペーサ層をAlGaAsで形成した場合の466meV（Al組成0.6の場合）に比べて、743meVであり、極めて大きい。障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差も同様に優位差があり、良好なキャリア閉じ込めとなる。また、量子井戸活性層が圧縮歪を有しているので、ヘビーホールとライトホールのバンド分離により、利得の増加が大きくなった。これらにより、高利得となるので、実施例6の面発光レーザは、低しきい値で高出力であった。

【0188】

また、量子井戸活性層と障壁層は、Alを含んでいない材料から構成されている。すなわち、Alフリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）としているので、酸素の取り込まれが低減されて非発光再結合センターの形成を抑えることができ、長寿命であった。

【0189】

また、偏光方向の制御については、基板の傾斜による光学利得異方性を利用している。現在、最有力視されている（311）B基板（傾斜角が25°）を用いた場合に比べて、小さい傾斜角（15°）であるので、光学利得異方性は小さくなる。実施例6では、この低下分を、量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償しており、十分偏光方向制御ができた。

【0190】

このように、実施例6によれば、活性層の利得が大きいとともに放熱が改善されたことにより低しきい値、高出力であることと、信頼性に優れていることと、偏光方向が制御されていることとを同時に満たした波長780nmの面発光レーザを実現することができた。

【0191】

なお本発明の効果は、短波長化とともに小さくなっていくが、680nmよりも長波長であれば得ることができる。例えばAlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザの場合と比較する。Al_xGa_{1-x}As（0<x≤1）系スペーサ層の定型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きいAl_xGa_{1-x}As（x=0.6、E_g=2.0226eV）と組成波長780nm（E_g=1.5567eV）の活性層とのバンドギャップ差は、（Al_aGa_{1-a}）_bIn_{1-b}P（0<a≤1、0≤b≤1）スペーサ層の定型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい（Al_aGa_{1-a}）_bIn_{1-b}P（a=0.7、b=0.5、E_g=2.289eV）と組成波長680nm（E_g=1.8233eV）の活性層とのバンドギャップ差（460meV）とほぼ等しい。

【0192】

また障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差については、例えば障壁層をGa_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}（e=0.6、f=1、E_g=2.02eV）とすれば、組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおよそ200meVとなり、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザの場合とほぼ同等となる。

【0193】

つまりAlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層（量子井戸活性層と障壁層）を用いても、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となる、更に歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることが可能となる。

【実施例7】

【0194】

図8は実施例7の面発光レーザの上面図である。実施例7の面発光レーザが実施例6の面発光レーザと違うところは、面発光レーザの光出射方向から見たメサ形状を、（111）A面方向に長い長楕円形状となるように異方性を設けて形成したことである。これにより、Al酸化膜により形成された電流注入領域の形状も（111）A面方向に長い形状と

なった。なお、この形状は、長楕円形状に限らず、長方形などの他の形状でも良い。

【0195】

偏光方向の制御は、基板の傾斜による光学利得異方性を利用している。現在、最有力視されている(311)B基板(傾斜角が 25°)を用いた場合に比べて、小さい傾斜角(15°)であるので、光学利得異方性は小さくなる。実施例7では、この低下分を、量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大、及び、面発光レーザの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状とすることによる基板傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得増大により補償しており、(311)B基板利用と比べて劣らない偏光方向制御ができた。

【実施例8】

【0196】

図9は実施例8の面発光レーザを示す図であり、実施例6の図7に対応したものとなっている。すなわち、図9は実施例8の面発光レーザの活性層周辺の領域の拡大図である。実施例8の面発光レーザが実施例6と違うところは、障壁層の材料として、引っ張り歪を有する $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ を用いたことである。また、実施例8では、引っ張り歪を有する $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ の障壁層を第1量子井戸活性層の下、及び第3量子井戸活性層の上にも設けている。他の構造は実施例6と同様である(すなわち、図6と同様である)。

【0197】

GaInPAs 系材料において、同一格子定数では GaInP のバンドギャップが最も大きい。また格子定数が小さい組成の方が大きなバンドギャップを取れるので、量子井戸活性層とのバンド不連続を更に大きくでき、利得が大きくなって、更に、低しきい値動作、高出力動作が可能となる。例えば、この実施例8の $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層のバンドギャップは、 2.02 eV であり、実施例6の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層のバンドギャップは 1.87 eV であり、実施例6の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層のバンドギャップよりも 150 meV 大きい。

【実施例9】

【0198】

図10は実施例9の面発光レーザアレイを示す図である。すなわち、図10は実施例9の面発光レーザアレイチップの上面図である。

【0199】

図10の例では、実施例8の面発光レーザが10素子、1次元に並んでいる。ただし、実施例9では、面発光レーザのpとnを実施例8の面発光レーザとは逆にした。すなわち、実施例9では、面発光レーザは、p型 GaAs 半導体基板上に形成されており、上面にn側個別電極、裏面にp側共通電極が形成されている。また、図10の例では、複数の面発光レーザを1次元に並べたが、複数の面発光レーザを2次元に集積させても良い。

【実施例10】

【0200】

図11は実施例10の光送信モジュールを示す図であり、図11の光送信モジュールは、本発明の面発光レーザアレイチップと安価なアクリル系POF(プラスチック光ファイバー)とを組み合わせたものとなっている。実施例10の光送信モジュールでは、面発光レーザからのレーザ光がPOFに入力され、伝送される。アクリル系POFは 650 nm に吸収損失のボトムがあり、 650 nm の面発光レーザが検討されているが、高温特性が悪く、実用にはなっていない。従来、この種の光送信モジュールにはLEDが使われているが、この場合には高速変調が困難であり、 1 Gbps を越えた高速伝送実現のためには半導体レーザが必要である。

【0201】

この実施例10の光送信モジュールに用いられる面発光レーザの波長は 780 nm であるが、放熱特性が良いと共に、活性層利得が大きいので、高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバーの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能である。

【0202】

光通信の分野では、同時により多くのデータを伝送するために、複数の半導体レーザが集積したレーザアレイを用いた並列伝送が試みられている。これにより、高速な並列伝送が可能となり、従来よりも多くのデータを同時に伝送できるようになった。

【0203】

この実施例10では(すなわち、図11の例では)、面発光レーザアレイの各面発光レーザ素子と光ファイバーとを1対1に対応させたが、発振波長の異なる複数の面発光レーザ素子を1次元または2次元にアレイ状に配置して、波長多重送信することにより伝送速度を更に増大させることも可能である。

【0204】

さらに、本発明による安価な面発光レーザ素子と安価なPOFとを組み合わせたので、低コストの光送信モジュールを実現できる他、これを用いた低コストの光通信システムを実現できる。すなわち、極めて低コストであることから、家庭用、オフィスの室内用、機器内用等の短距離のデータ通信に有効である。

【実施例11】

【0205】

図12は、実施例11の光送受信モジュールを示す図であり、図12の光送受信モジュールは、実施例8の面発光レーザ素子と、受信用フォトダイオードと、アクリル系POFとを組み合わせたものとなっている。

【0206】

本発明による面発光レーザ素子を光通信システムに用いる場合、本発明の面発光レーザ素子とPOFは低コストであるので、図12に示すように、送信用の面発光型半導体レーザ素子と受信用フォトダイオードとPOFとを組み合わせた光送受信モジュールを用いた低コストの光通信システムを実現できる。また、POFはファイバの径が大きくてファイバとのカップリングが容易で実装コストを低減できることから、極めて低コストのモジュールを実現できる。また、本発明の面発光レーザ素子の場合、温度特性が良いこと、及び、低しきい値であることにより、発熱が少なく、高温まで冷却なしで使えるより低コストのシステムを実現できる。

【0207】

本発明に係る面発光レーザ素子を用いた光通信システムとしては、光ファイバーを用いたLAN(Local Area Network)などのコンピュータ等の機器間伝送、さらには機器内のボード間、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等の光インターコネクションとして特に短距離通信に用いることができる。

【0208】

近年、LSI等の処理性能は向上しているが、これらを接続する部分の伝送速度が今後ボトルネックとなる。システム内の信号接続を従来の電気接続から光インターコネクトに変えるとき、例えばコンピュータシステムのボード間、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続すると、超高速コンピュータシステムが可能となる。

【0209】

また、複数のコンピュータシステム等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続した場合、超高速ネットワークシステムが構築できる。特に面発光レーザ素子は、端面発光型半導体レーザに比べて桁違いに低消費電力化でき2次元アレイ化が容易なので、並列伝送型の光通信システムに適している。

【実施例12】

【0210】

図13は実施例12のレーザプリンターを示す図である。すなわち、図13は、波長780nmである実施例8の面発光レーザが4×4の二次元に配置された面発光レーザアレイチップ(16ビームVCSELアレイ)と感光体ドラムとを組み合わせたレーザプリンターの光走査部分の概要図である。また、図14は、図13のレーザプリンターに用いら

れる面発光レーザアレイチップ（１６ビームＶＣＳＥＬアレイ）の概略構成を示す図（上面図）である。この面発光レーザアレイチップ（１６ビームＶＣＳＥＬアレイ）は、点灯のタイミングを調整することで、感光体上では図１４に示すように副走査方向に１０μｍ間隔で光源が並んでいる場合と同様な構成と捉えることができる。

【０２１１】

この実施例１２では、面発光レーザアレイからの複数のビームを、同じ光学系を用い走査用ポリゴンミラーを高速回転させてドット位置を点灯のタイミングを調整して副走査方向に分離した複数の光スポットとして、被走査面である感光体上に集光して一度に複数のビームを走査している（すなわち、一度に複数のビームを走査している）。

【０２１２】

この実施例１２によると、副走査方向に約１０μｍ間隔で感光体上に書き込み可能であり、これは２４００ＤＰＩ（ドット／インチ）に相当する。また、主走査方向の書き込み間隔は、光源の点灯のタイミングで容易に制御できる。１６ドットを同時に書き込み可能であり、高速印刷できた。アレイ数を増加させることで更に高速印刷可能である。また、面発光レーザ素子の間隔を調整することで、副走査方向の間隔を調整でき、２４００ＤＰＩよりも高密度にすることができ、より高品質の印刷が可能となる。この実施例１２による面発光レーザは、従来の面発光レーザよりも高効率化されているとともに、放熱特性がよく、複数素子が同時に動作しても高出力を保つことができ、印刷速度を従来よりも早くすることができた。

【０２１３】

なお、実施例１２ではレーザプリンターへの応用例を示したが、その他の画像形成装置にも本発明を適用できる。また、ＣＤ等の記録用、再生用光源としても用いることができる（すなわち、光ピックアップシステムにも本発明を適用できる）。さらに、光電融合集積回路などにも利用できる。

【図面の簡単な説明】

【０２１４】

【図１】 一般的な面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の構成例を示す図である。

【図２】 第１の形態の面発光レーザの基本構成例を示す図である。

【図３】 実施例１の面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の構成を示す図である。

【図４】 実施例１における I_n （４５１ｎｍ）／ A_1 （３９６ｎｍ）発光強度比の時間変化を示す図である。

【図５】 実施例５の面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）の構成を示す図である。

【図６】 実施例６の面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）を示す図である。

【図７】 実施例６の面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）を示す図である。

【図８】 実施例７の面発光レーザの上面図である。

【図９】 実施例８の面発光レーザを示す図である。

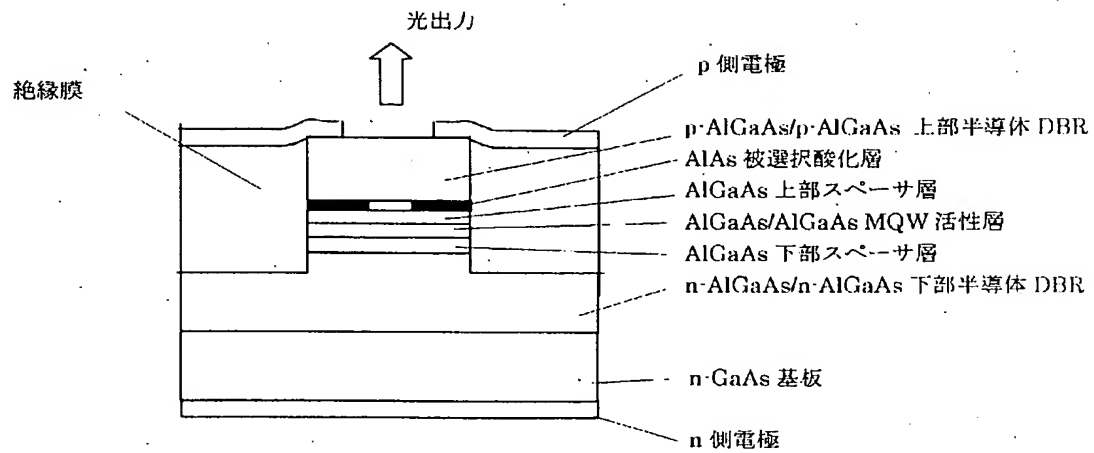
【図１０】 実施例９の面発光レーザアレイを示す図である。

【図１１】 実施例１０の光送信モジュールを示す図である。

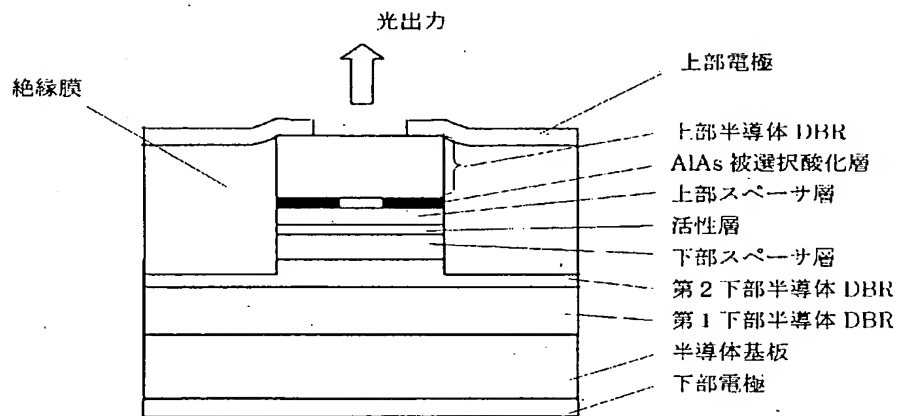
【図１２】 実施例１１の光送受信モジュールを示す図である。

【図１３】 実施例１２のレーザプリンターを示す図である。

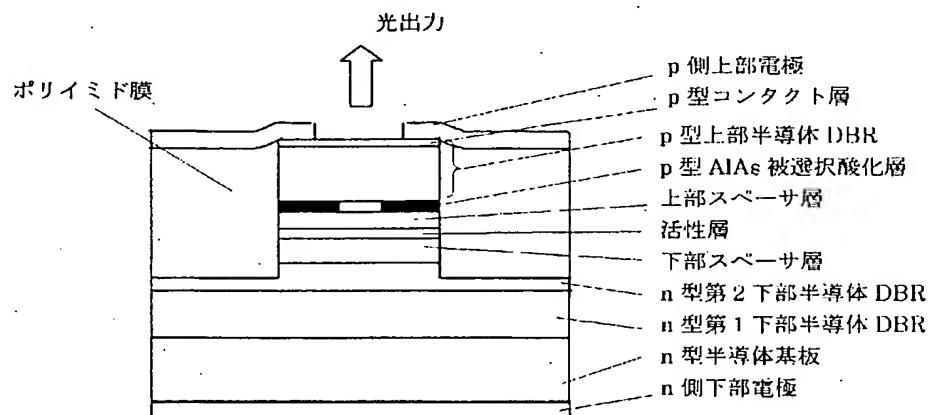
【図１４】 図１３のレーザプリンターに用いられる面発光レーザアレイチップ（１６ビームＶＣＳＥＬアレイ）の概略構成を示す図（上面図）である。



【図 2】

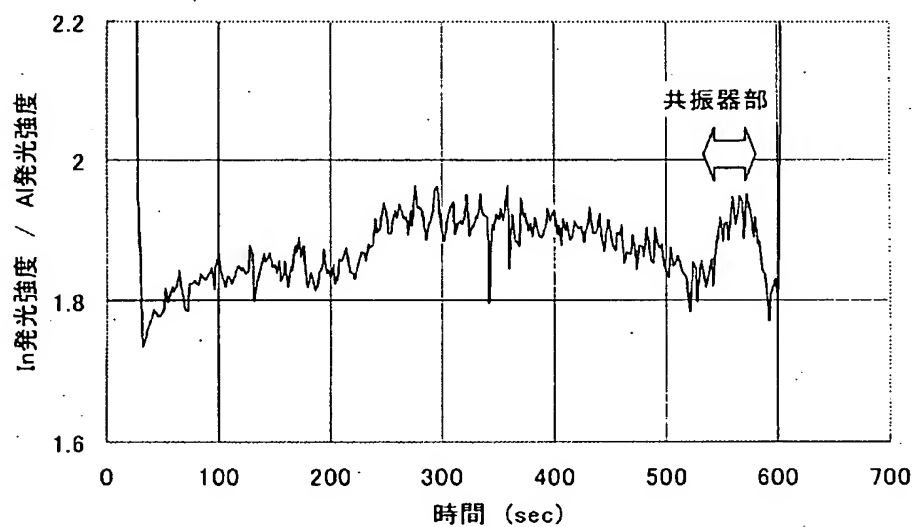


【図 3】

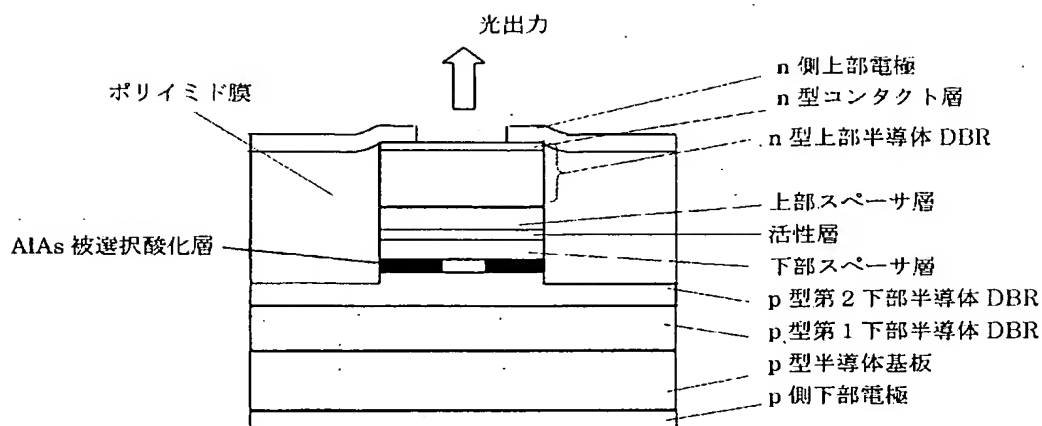


【図 4】

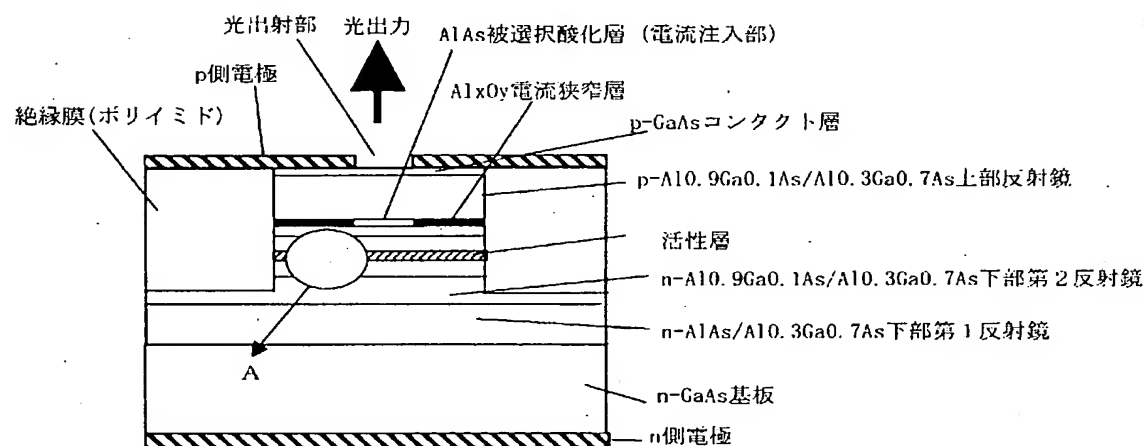
実施例 1 における In(451 nm)/Al(396 nm) 発光強度比の時間変化



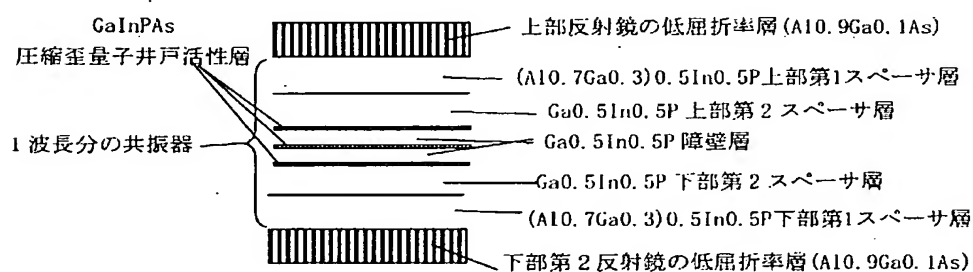
【図 5】



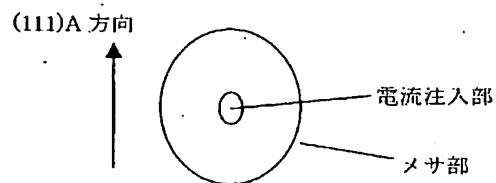
【図 6】



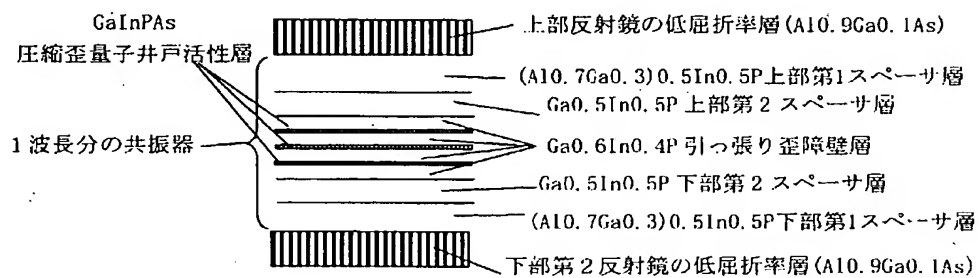
【図 7】



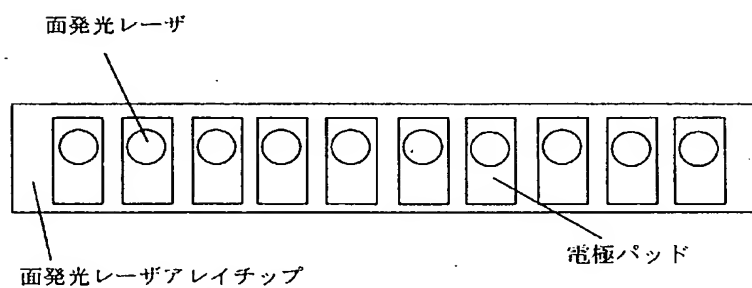
【図 8】



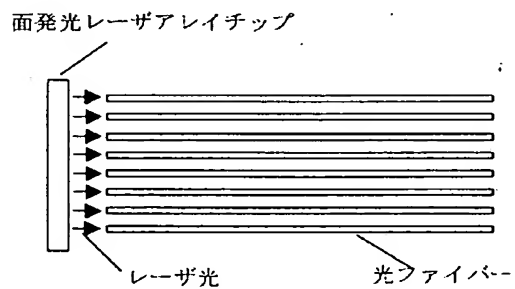
【図 9】



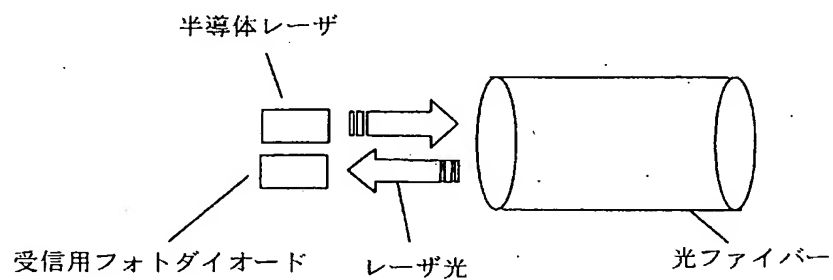
【図 10】



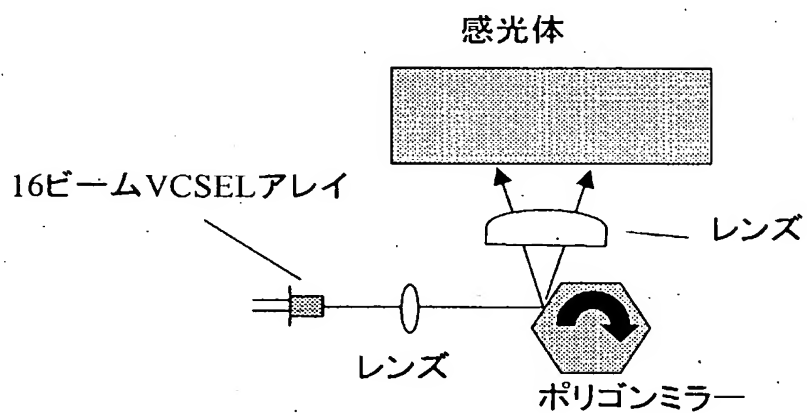
【図 11】



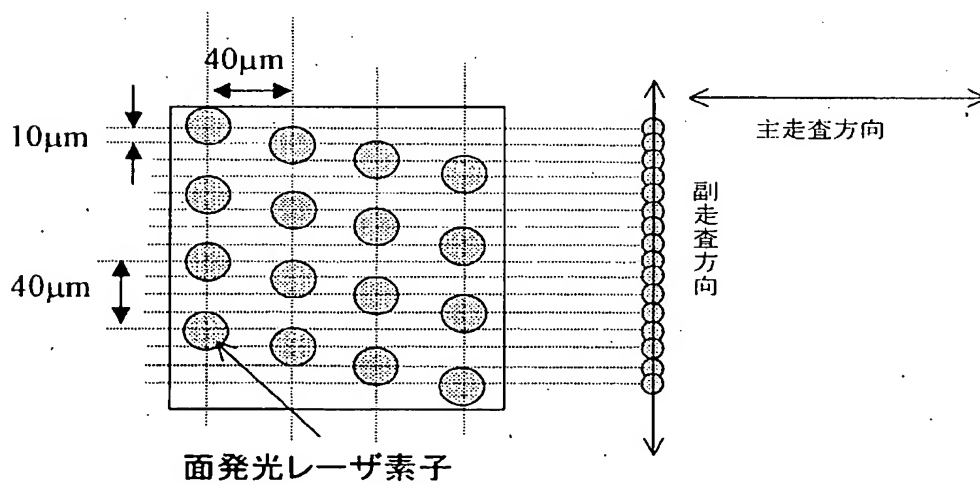
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する材料のGa組成やGa/Al比の変化が小さく、かつ放熱性を考慮した面発光レーザ半導体膜でも、制御性よくエッチングできる構成を提供する。

【解決手段】 半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層と該活性層の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料からなるスペーサ層とを含む共振器領域と、該共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とが積層膜として形成され、該積層膜がエッチングによってメサ形状に加工される面発光レーザであって、下部反射鏡は、低屈折率層がAlAsからなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層がAlGaAsからなる第2下部反射鏡とから構成され、共振器領域を構成するいずれかの層は、Inを含んでいる。

【選択図】 図2

出願人履歴

000006747

20020517

住所変更

東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー